

Научный руководитель: Б.В. Лебедев, к.т.н., доцент, каф. ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ.

## **ПОДХОДЫ К РАСЧЕТУ И МОДЕЛИРОВАНИЮ КОТЛОВ С ЦКС**

О.М. Кокшарев, А.В. Гиль  
Томский политехнический университет  
ПГС и ПГУ, ЭНИН

Сегодня технология ЦКС (циркулирующий кипящий слой) доказала свою эффективность с технической и экономической точки зрения. Можно выделить такие преимущества котлов с ЦКС как устойчивость к работе в условиях маленьких нагрузок с отсутствием подсветки мазутом, уменьшение котельной ячейки из-за недостатка средств азото- и серочистки, быстрое изменение нагрузки. Отмечается также и более высокий уровень выгорания топлива (около 99%). В частности, в [1] представлено то, что при эксплуатации котлов с ЦКС, в отличие от котлов с камерным сжиганием твердого топлива, имеется одно большое отличие – в котлах с ЦКС реализована непрерывная горячая система возврата твердых частиц в топку, что представляет много преимуществ (например, к высокому выгоранию углерода и однородному тепловому потоку по всей топке и системе возврата). Благодаря этим и другим технологическим аспектам данная технология сжигания низкокачественных твердых топлив широко применяется в Китае, США и Европейских странах.

В отечественной практике расчетов и проектирования энергетических котлов с организацией факельного сжигания органических топлив накоплен большой опыт, который отражен в нормативных методах теплового, гидравлического и аэродинамического расчетов котельных агрегатов. Однако, до настоящего времени в нормативном методе теплового расчета нет рекомендаций по расчету котлов с кипящим (КС) и циркулирующим кипящим слоем. Это связано с отсутствием отечественного опыта эксплуатации энергетических котлов как с КС, так и с ЦКС. Имеющиеся литературные данные носят разрозненный характер, и не отражают однозначную методику расчета. Среди методик и программ расчета котлов с ЦКС в России можно отметить разработанную в ОАО «ВТИ» математическую модель топочного контура котла с ЦКС, которая описана в [2, 3].

Стоит отметить, что наибольшей эффективностью, с учетом уровня прогресса инновационной вычислительной техники, обладают методы численного анализа. Они имеют ряд преимуществ в сравнении с теоретическими и эмпирическими методами [4].

Тем не менее, на сегодняшний день, моделирование топочных камер котлов с ЦКС с применением методов вычислительной газодинамики обычно ограничено 2-х мерной геометрией, для которой поток частиц моделируется с

использованием стандартного многожидкостного подхода Эйлера-Эйлера, но для большего понимания процессов, происходящих в котлах с ЦКС, необходимо применять трехмерное моделирование [5]. Однако, из-за высокой вычислительной сложности, лишь несколько зарубежных исследований, доступных в открытых источниках, посвящены полному циклу трехмерного моделирования промышленных котлов с ЦКС [6 – 9].

На основании анализа литературных данных разработана методика расчета котла с ЦКС на основании которой получены геометрические размеры топки, циклона и пневмозатвора (рис.1). Также, произведена оценка расходов вторичного и первичного воздуха; расхода топлива; расхода сорбента для улавливания серы. На основании расчета всех потерь данного котлоагрегата, определен КПД, равный 87,7%.

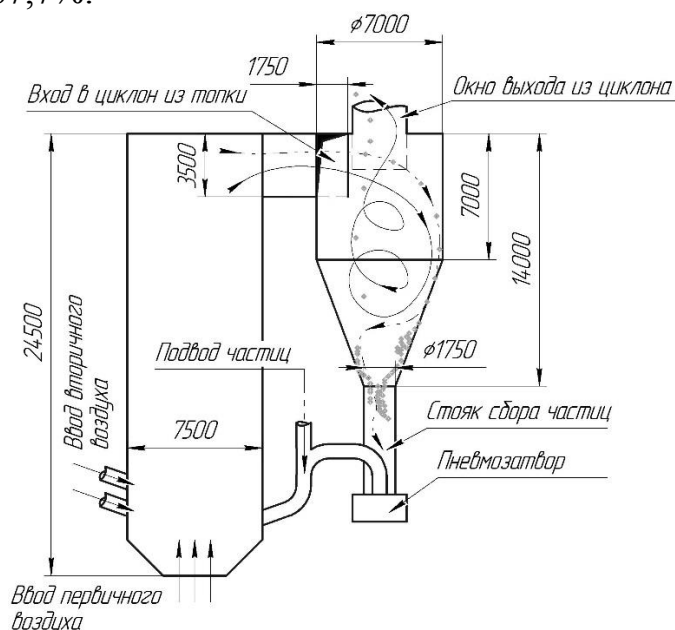


Рис. 1. Схематический чертеж котла с ЦКС. На рисунке дымовые газы и воздух – сплошная линия, поток частиц – прерывистая линия

Объектом исследования является котел с ЦКС, оборудованный двумя циклонами для захвата частиц. Топочная камера оборудована 4 устьями подачи частиц на тыльной стене и 10 устьями трубопроводов вторичного дутья на фронтальной стене в 2 яруса (рис. 2).

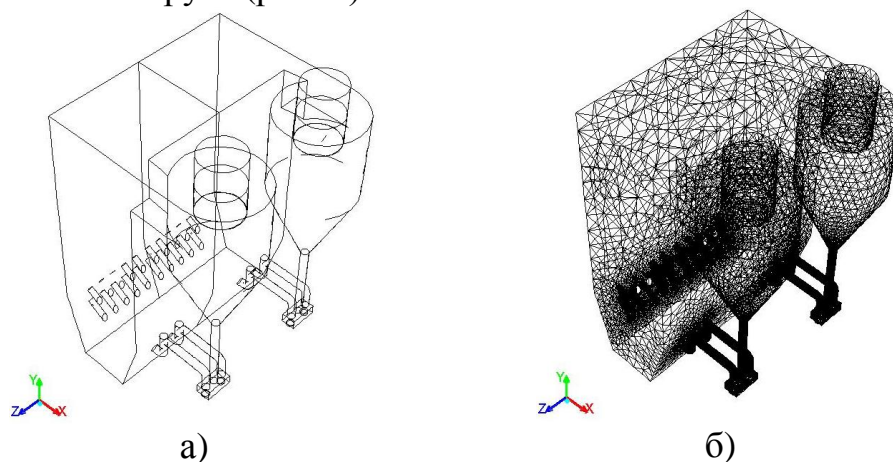


Рис. 2. Объект исследования: а – 3D модель; б – расчётная сетка

Модель, представленная на рис. 2 намеренно имеет грубую дискретизацию расчетной области для быстрой оценки влияния исходных данных на конечный результат, поскольку более мелкая сетка предполагает более точный расчет и, соответственно, затрагивает большое количество временного ресурса (в среднем до 3–4 суток для совершения расчета, при котором можно делать оценочные суждения).

В ходе математического моделирования основными задачами являлись приведение в соответствие геометрических размеров, граничных условий и методов к тем, которые упоминаются в литературных источниках как апробированные, для того, чтобы провести верификацию.

На рис. 3 представлен контурный график распределения частиц песка (кг/кг). Данный график распределения схож с тем, что представлен в [10] и, в целом, соответствует действительности, а именно – видна циркуляция твердой фазы в нижних частях топочной камеры, объем которой снижается по высоте, но все равно присутствует в околостенных зонах топки (преимущественно на фронтальной стене).



Рис.3. Контурный график распределения частиц песка (кг/кг): а – 3D вид; б – вертикальное сечение на расстоянии 2,75 метров от боковой стены и сечение по оси топочной камеры;

На рис. 4 отображены контурные графики скоростей воздуха и частиц песка. В обоих случаях наблюдается следующая зависимость – увеличение скорости от низа (циркулирующий слой) к верху (выход в циклоны). Средняя скорость по сечениям топочной камеры – 7 м/с, а скорость на выходе из топки в циклон – 30 м/с.

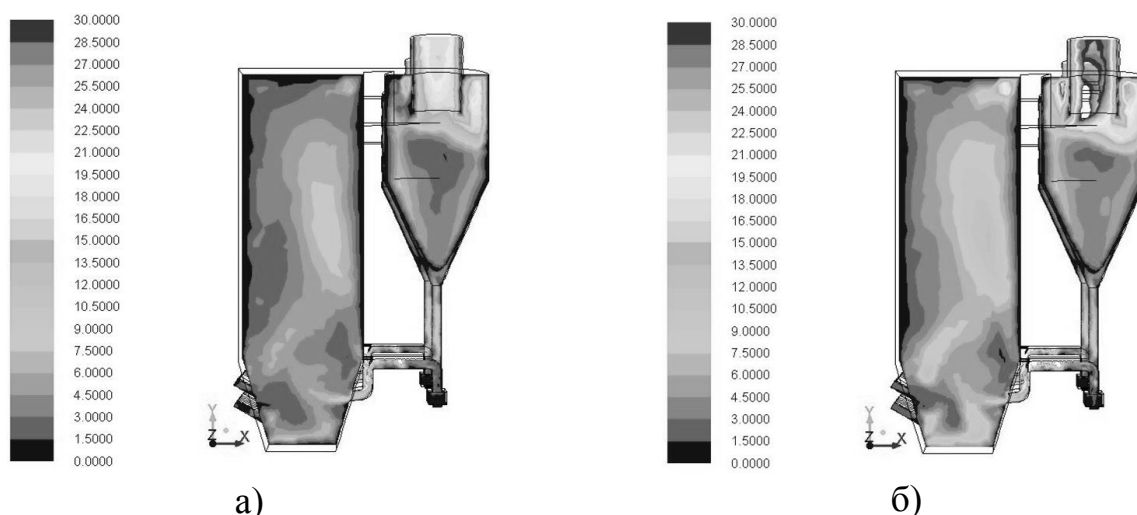


Рис. 4 – Контурный график распределения скорости по объему котла с ЦКС (м/с) в вертикальном сечении на расстоянии 2,75 метров от боковой стены:

а – частиц песка; б – воздуха

Для расчета аэродинамики исследуемого котлоагрегата был применен метод Эйлера–Эйлера, который приводится в большинстве литературных источников как один из основных для расчета подобного вида систем. Однако данный метод имеет ряд недостатков, например, отсутствие пост-анализа по распределению частиц по диаметрам в топочном объеме, а также отсутствие задания условий горения угольных частиц.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. J. Utt and R. Giglio. Technology comparison of CFB versus pulverized-fuel firing for utility power generation. IFSA 2011, Industrial Fluidization South Africa: 91–99
2. Кадников Б.Л., Давыдов Н.И., Шмуклер Б.И., Рябов Г.А. Моделирование физико – химических процессов в котлах с циркулирующим кипящим слоем// Теплоэнергетика. – 1994. – № 5. – С. 64 – 70.
3. Кадников Б.Л. Переменные режимы работы котла с ЦКС: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14/ Кадников Борис Леонидович – М., 1995. – 22 с.
4. Tourunen A., Saastamoinen J., Nevalainen H. Experimental trends of NO in circulating fluidized bed combustion. Fuel 88 (2009) 1333–1341
5. Wojciech P. Adamczyk, Gabriel Wecel, Marcin Klajny, Paweł Kozołub, Adam Klimanek, Ryszard A. Białecki, Modeling of particle transport and combustion phenomena in a large-scale circulating fluidized bed boiler using a hybrid Euler–Lagrange approach, Particuology 16 (2014) 29–40
6. Hansen, K.G., & Madsen, J. (2001). A computational and experimental study of gasparticle flow in a scaled circulating fluidized bed. In 9th semester project Aalborg University Esbjerg.
7. Myohanen, K., & Hyppanen, T. (2011). A three-dimensional model frame for modelling combustion and gasification in circulating fluidized bed furnaces. International Journal of Chemical Reactor Engineering, 9(A25) <http://dx.doi.org/10.1515/1542-6580.2571>

8. Wischnewski, R., Ratschow, L., Hartge, E.-U., & Werther, J. (2010). Reactive gas–solids flows in large volumes—3D modeling of industrial circulating fluidized bed combustors. *Particology*, 8, 67–77.
9. Zhang N., Lu B., Wang W., & Li J. (2008). Virtual experimentation through 3D fullloop simulation of a circulating fluidized bed. *Particology*, 6, 529–539.
10. G.X. Yue, H.R. Yang, J.F. Lu, H. Zhang «Latest development of CFB boilers in China», *Proc of Int. Conf. FBC20*, 18-21 May 2009, Xi'an, China, pp 3-12;

Научный руководитель: А.В. Гиль, к.т.н, доцент, каф. ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ.

## **СОСТОЯНИЕ УГОЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РОССИИ И В КИТАЕ И ВОЗМОЖНОСТЬ СОТРУДНИЧЕСТВА В СФЕРЕ ТОРГОВЛИ ТОПЛИВОМ**

У Юйпэй

Томский политехнический университет  
ЭНИН, ПГС и ПГУ группа 5B5A

Состояние угольной промышленности в России.

Угольная промышленность в России считается важной и значительной, она не только производит огромное количество товаров для внутреннего самостоятельного потребления, но и развивает российскую экономику путем экспорта угля.

Россия в рейтинге по запасам угля занимает второе место. Однако, в результате реструктуризации угольной промышленности, использование угля постепенно уменьшалось. На сегодняшний день, использование угля составляет лишь 12% от структуры использования топлива. Это приводит к возникновению избытка угля, что не выгодно с точки зрения экономики.

Таким образом, расширение масштаба экспорта угля является основной задачей России.

Состояние угольной промышленности в Китае

Угольная промышленность вносит огромную лепту в развитие китайской экономики. Это объясняется тем, что с развитием угольной промышленности, появилась большая потребность в рабочей силе, благодаря этому, количество рабочих мест увеличилось. Кроме этого, угольная промышленность стимулирует развитие смежных отраслей.

В Китае, использование угля составляет около 70% от структуры использования топлива. Для удовлетворения большой потребности в угле было принято решение расширить масштаб добычи угля. В результате этого, Китай в рейтинге по добыче угля лидирует с большим отрывом от конкурента, добывается 3680 млн. тонн угля, что составляет 46% от мировой добычи.